利用基于自然的解决方案促进生物多样性保护

罗明[1]，张丽荣[2*]，杨崇曜[1]，朱振肖[2]，孙雨芹[1]，孟锐[2]，张丽佳[1]，王君[2]，刘艳书[1]

（1. 自然资源部国土整治中心，自然资源部土地整治重点实验室，北京 100035；
2. 生态环境部环境规划院，生态保护修复规划研究所，北京 100012）

摘要：生物多样性丧失是当今人类面临的重要危机之一，在以爱知目标为代表的生物多样性保护目标均未实现的背景下，如何推进变革性转型以遏制和扭转生物多样性丧失趋势成为当务之急。基于自然的解决方案（NbS）因其坚持整体性、系统性、多样性、稳定性、可持续性、权衡性和包容性等原则，成为应对全球危机的重要工具。本文通过分析机理和功能层面生物多样性和 NbS 的关系，阐明了 NbS 利用恢复生态系统的复杂性和营养级来指引生物多样性保护的路径，提出了利用 NbS 促进生物多样性保护的双重内涵，一是以提升生态系统多样性、稳定性、持续性为目标，二是利用自然生态过程。在建立 NbS 和生物多样性关联认知的基础上，本文进一步梳理了 NbS 的概念内涵与生物多样性保护目标的一致性，以及 NbS 在生态空间、农业空间、城镇空间的对生物多样性保护的相关方法，归纳了 NbS 促进生物多样性的国内外实践案例，讨论了 NbS 协同促进生物多样性保护、应对气候变化和可持续发展的多重效益，展望了 NbS 纳入生物多样性保护战略规划的愿景，以期为促进"昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架"等框架履约、推进 NbS 在生物多样性保护主流化提供参考。

关键词：基于自然的解决方案，生物多样性，生态系统过程，复杂性，营养级

中图分类号： **文献标识码：**A **文章编号：**

Utilizing nature-based solutions to promote biodiversity conservation

LUO Ming[1], ZHANG Lirong[2 *], YANG Chongyao[1], ZHU Zhenxiao[2], SUN Yuqin[1], MENG Rui[2], ZHANG Lijia[1], WANG Jun[2], LIU Yanshu[1]

（1. *Key Laboratory of Land Consolidation and Rehabilitation, Land Consolidation and Rehabilitation Center, Ministry of Natural Resources*, Beijing 100035, China; 2. *Institute of Ecological Protection and Restoration Planning, Chinese Academy of Environmental Planning*, Beijing 100012, China）

Abstract: Biodiversity loss is one of the major crises facing humanity today, and with none of the biodiversity targets represented by the Aichi Biodiversity Targets being met, there is an urgent need to

---

基金项目：国家重点研发计划项目（2022YFE0209400）。

作者简介：罗明(1962 -)，博士，研究员，主要研究方向为基于自然的解决方案，（E-mail） luoming@lcrc.org.cn。

***通信作者：**张丽荣，博士，副研究员，主要研究方向，生态保护与修复，生物多样性和自然保护地综合管理，（E-mail） zhanglr@caep.org.cn。

promote transformative change to halt and reverse the trend of biodiversity loss. Nature-based solutions (NbS) have emerged as an important tool to address the global crisis due to its inherent principles involving holistic and systemic approach, diversity, stability, sustainability, trade-offs, and compatibility. The relationship between biodiversity and NbS is analyzed from a mechanistic and functional perspective, and the pathway of NbS as a proxy for biodiversity conservation is revealed by restoring of ecosystem complexity and trophic levels to put nature on the path. We here summarize the dual intensions of promoting NbS for biodiversity conservation, as 1) the goal aimed at enhancing diversity, stability, and sustainability of ecosystem, and 2) the tool involves use natural processes. Based on the above understanding of the link between NbS and biodiversity, this paper further compares the conceptual connotation of NbS with the consistency of biodiversity conservation, as well as the NbS methods for biodiversity conservation including natural, agricultural and urban area. Practical cases of NbS for biodiversity conservation or synergy of NbS for biodiversity are summarized in align with differentiated typical ecosystems. The multiple benefits of NbS for biodiversity conservation, climate change and sustainable development are discussed. The vision of integrating NbS into strategic planning for biodiversity conservation is presented to provide a reference for promoting the implementation of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework and the mainstreaming of NbS in biodiversity conservation.

Key words: Nature-based Solutions（NbS）, biodiversity conservation, ecosystem process, complexity, trophic levels

生物多样性是生态系统健康和恢复力的关键决定因素，生物多样性及其提供的惠益事关地球健康、人类福祉以及可持续发展 (任海和郭兆晖，2021)。生物多样性的物种库和栖息地的异质性能促进多种生态系统服务，对于维持生态系统的健康和功能至关重要 (Le Provost et al., 2022)。生物多样性服务于人类福祉的同时，也不断受到人类的改变。特别是进入人类世（Anthropocene）以来，人类活动规模和强度的不断增加对生物多样性和全球生态系统的组成、结构和功能都产生了极大的影响（Steffen et al., 2007）。由于以自然生境转为农业和林业用地而导致的生境损失和退化为代表的人类压力，生物多样性正在迅速减少。生物多样性和生态系统服务政府间科学政策平台（IPBES）报告指出，生物多样性正在以比人类历史上任何时候都快的速度下降，全球有 100 万种动植物正在受到威胁或即将消失。就陆地和淡水生态系统而言，土地用途改变是 1970 年以来对自然的相对负面影响最大的直接驱动因素，其次是直接利用（IPBES, 2018）。

为了遏制和扭转当今生物多样性丧失的趋势，全球开展了以联合国生物多样性公约为引领的一系列生物多样性保护行动，虽然取得了一定的成效，但距离设想的有效保护目标仍然存在着相当大的距离（CBD, 2020）。全球生物多样性保护的努力依然不足，亟需探索一条变革性转型之路（Stokstad, 2020）。

近年来，基于自然的解决方案（Nature-based Solution, NbS）逐渐成为国际社会广泛认同的应对一系列环境和社会挑战的重要途径。NbS 以自然做功，对自然和人工生态系统开展保护、养护、恢复和可持续管理，在应对多种社会挑战的同时，提升人类福祉和生物多样性。NbS 即可以通过保护、养护、管理、恢复行动提高其物种及其栖息地的健康、范围和连通性直接维持生物多样性，也可通过适应和减缓气候变化及其对物种和生境的影响间接维持生物多样性。本文从 NbS 和生物多样性的内涵、标准、方法出发，系统梳理了 NbS 与生物多样性保护的关联关系，分析了 NbS 应对多种挑战协同增效的多功能性，梳理了 NbS 促进生物多样性保护的国

内外实证经验，对下一步 NbS 促进生物多样性保护提出了展望。

1 生物多样性、生态系统与 NbS 的内在关联

1.1 生物多样性的内涵

生物多样性是生物及其组成的多样性和变异性，是一定区域内所有生物种类及其遗传变异、生物与环境组成的生态系统差异以及与此有关的各种生态过程的总称(任海和郭兆晖 2021)。生物多样性的形成和维持机制是生态学领域的重要议题之一（王少鹏等, 2022）。

不同组织水平的生物多样性都具有其重要的意义和作用。种内基因的变化构成了遗传多样性，对于理解物种适应机制至关重要。生物多样性语境下的物种多样性与生态多样性研究中的物种多样性不同，是对一定区域内物种的总体状况的描述，而非对群落的组织水平进行研究。生态系统的多样性则指生物圈内生境、生物群落和生态过程的多样化以及生态系统内生境差异、生态过程变化的多样性（马克平, 1993）。

近年来的研究认为功能多样性是影响生物与生态系统功能的重要因素。表型多样性、景观多样性等均具有重要的意义且受到广泛关注（Lefcheck et al., 2015; Provost et al., 2022）。

1.2 生态系统与生物多样性的交互关系

生物多样性与生态系统间的关系是生物学和生态学的一个核心原则，即形式（form）与功能（function）之间的关系。大量研究已经证明生物多样性与生态系统功能具有密切相关的协同关系，但其机理仍然是重要的科学问题。局域群落的多样性是否以及如何受到区域群落的调控对于理解多尺度的生物多样性维持至关重要（张健等, 2022）。

群落内物种之间相互作用形成了网络结构，即群落结构（王少鹏等, 2022），群落与其所在的无机环境共同构成了生态系统。高生物多样性的生态系统具有典型的组成单元多、单元之间大量联系、具有自适应性和进化能力、具有动力学特性等特征，具有高度的复杂性(张知彬等, 1998)。

生态系统作为生物与其生存环境通过一系列因果关系形成的复杂的生物物理系统，其结构、功能与动态是最为关键的特性（van der Maarel and Franklin, 2017），生物多样性则是其主要的决定因素。虽然目前群落结构和物种共存的机理依然是生态学研究的难点（宋础良, 2020），但已有研究充分证明，物种间的相互作用关系不仅影响着群落的结构，还促成群落具有了比个体简单叠加更凸显的特征(王国宏, 2002)。物种间的相互作用，即生态系统过程，以及生态系统自发有序空间格局的生成等自组织过程产生了一系列的涌现属性，构成了整体大于部分之和的效果，从而发挥着多元化的生态系统功能（葛振鹏和刘权兴, 2020）。

高生物多样性所带来的生态位重叠或物种冗余能有效加强生态系统的稳定性（stability），及其 4 方面内涵，即抵抗力（resistance）、恢复力（或译为复原力, resilience）、持久性（persistence）、变异性（variability）。稳定性为面对干扰时的生态系统功能提供了一种保证安全的方法，从而能适应环境因子的自然波动，并能保持其自身生存与繁衍。

1.3 涵盖生态系统的 NbS 与生物多样性保护机理

在个体层次和生态系统层次的自组织过程的相互作用是决定生态系统功能和恢复能力的关键因素。恢复目标物种的短期存在是容易的，但要使目标物种能够长期生存，则需要稳定健康的生态系统对其进行支撑，特别是在发生干扰的时候，生态系统的稳定性对于目标物种是否能够应对和度过具有重要的作用

IPBES 报告（2019）就指出，如果不在减少生物多样性丧失的根本原因方面取得进展，专注于保护的政策便不大可能克服致使生物多样性下降的种种压力。如果要有效保护生物多样性，仍然存在几个关键问题，包括人类活动影响生物多样性的内在机制与演化后果、关键生物类群

衰退的关键影响因素和驱动机制、生物群落对不断增加的极端气候事件的响应与适应等。

生态恢复主要通过群落的种群构件组合对生态位的再分配来完成。Walker(1995)在探讨物种保护的过程中发现，通过生态系统的方法，或生态系统的恢复力的方法优于单纯对物种的保护。Huang 等(2019)的研究通过对我国生态恢复项目的生物多样性分析发现，恢复的生态系统与退化生态系统进行对比，其结构特征极大改善，说明恢复的生态系统，其生物多样性的恢复可能主要是反映在结构特征而不是生物多样性特征。因此可以说，如何确定退化生态系统的修复目标并重建包括复杂营养级的生态系统稳定性与持续性就是恢复生态系统稳定性以保护生物多样性的核心问题。鉴于目前对生态系统中物种种类、数量、种间关系及其对生态过程和生态系统结构和功能的机理性分析仍然是生态学研究的难点之一，以 NbS 为手段，充分应用生态系统中的物种相互作用和群落演替的自然过程，确保修复和保持生态系统结构及其复杂性，从而继续发挥其整体结构和功能就成为了有效恢复生态，保护生物多样性最为有效的途径（图 1）。

与此同时，在多样性与生态系统稳定性关系的探讨中，生物多样性不能拘泥于一个特定的层次（如物种）或该层次中的一个层面（如物种的丰富度），应全面考察生态系统各个生物组织层次及同一层次不同层面的多样性对系统稳定性的影响。NbS 跨尺度的理念超越了狭义的生物多样性概念（一地的物种数量），而是通过保护和恢复生态系统的完整性、多样性，从而为大尺度，乃至全球尺度的生物多样性提供有效支撑。

总体来说，NbS 的实施过程就是对生态系统结构、功能、过程、健康、服务的复原和提升。在此过程中，生物多样性保护既是目标，又是手段，只有保护恢复了生物多样性这一重要生态基础，才能实现区域生态改善和区域生态安全。NbS 总体上是对生态系统管理措施的生物多样性效果的考量，是对生态效益和生物多样性的兼顾和协调。

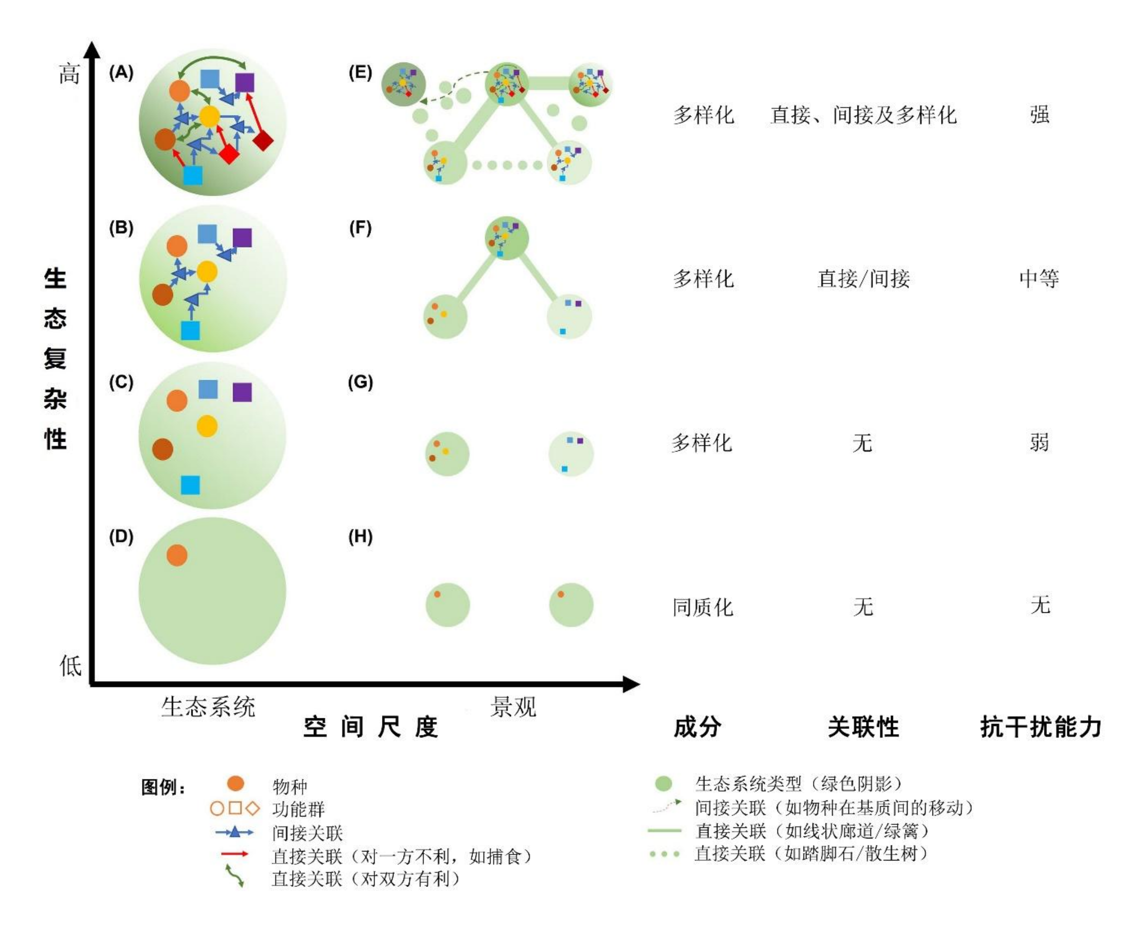


图 1　NbS 恢复生态系统和保护生物多样性的路径（改绘自 Bullock et al., 2022）

Fig. 1 Pathways of NbS for ecosystem restoration and biodiversity conservation (adapated from

Bullock et al., 2022)

2 NbS 促进生物多样性保护的优势

2.1 NbS 概念内涵与生物多样性密切相关

在复杂多变的生物多样性丧失与生态环境问题多发的背景下，人类逐渐认识到，单纯的保护行动虽然行之有效，但不足以应对当前的挑战，维持人类生存和加强对自然的保护和可持续利用是相辅相成且相互密切依存的目标（IPBES, 2019）。在处理复杂系统时，NbS 超越了传统的用机械式方法来解决问题的方式，以生态系统方法为基础，该方法也是生物多样性公约的基础。

自 2008 年世界银行首次在其报告中明确提出 NbS 概念以来，不同的学者和研究机构对 NbS 的定义进行了充分探讨，虽然他们对 NbS 概念的理解上各有侧重， 但都一致表明了 NbS 是有益于人类福祉和生物多样性效益的解决方案，NbS 的定义与内涵始终体现了以生物多样性提升作为行动内容和基本目标。2022 年联合国环境大会作为联合国官方机构首次定义并推荐 NbS，并提出受各方认可的 NbS 定义，即“基于自然的解决方案就是采取行动保护、养护、恢复、可持续利用和管理自然或经改造的陆地、淡水、沿海和海洋生态系统，以有效和适应性地应对社会、经济和环境挑战，同时对人类福祉、生态系统服务、复原力和生物多样性产生惠益”，则明确提出了 NbS 服务于生态系统恢复力和生物多样性的核心目标。

世界自然保护联盟（IUCN）制定的 NbS 的全球标准及其使用指南提出的 8 项基本准则和相应的 28 项指标致力于大尺度上发挥 NbS 的潜力和作用，体现了生物多样性保护的核心内容和目标。其中，准则 3 及其指标直接明确了 NbS 的应用出口是生物多样性和生态系统完整性带来净收益 (罗明等，2020)。

2.2 NbS 为生物多样性保护构建了全面的方法体系

传统的生物多样性保护主要关注在自然生态系统或自然保护地内的保护。对于自然生态系统，NbS 提出基于区域的保护方法，承认当地社区的重要作用，自然保护地本身是 NbS 的重要载体，保护自然生态系统结构功能的完整性和关键地区的生物多样性。但在有限的自然保护地内实现对全面的生物多样性保护具有较大的难度（IUCN, 2022）。通过建设生态廊道，将自然保护地节点连接形成自然保护地网络是统筹实施和协调管理全国或区域尺度生物多样性保护的必要手段之一（Saura et al., 2017）。NbS 的生态系统恢复方法、绿色基础设施、基于生态系统的管理方法等均可充分应用于生态廊道的规划、建设和管理。

与此同时，管理和恢复保护地以外的生物多样性，将对保护有重要意义的其他地区纳入整体保护框架对于生物多样性具有重大意义。实现人工管理生态系统的可持续性和多功能性、设计和管理新的生态系统两类 NbS 路径是推进其他有效的区域保护措施（OECM）的重要手段（IUCN, 2016）。

对于城市生态系统，NbS 提供了包括蓝绿色基础设施在内的自然基础设施工具，增加蓝绿空间的面积、质量和连通性，确保生物多样性包容的城市规划，增强本地生物多样性、生态连通性和完整性，促进城镇空间里的生物多样性保护和经济社会绿色发展等；对于农业生态系统，农业 NbS 提供了以恢复自然的方式从事食物生产等可持续管理工具，恢复保护土壤健康和农田生物多样性。

NbS 方法框架除了与基于生态系统的方法有一致性之外，还具有创新性。NbS 要求将管理活动与景观规模的规划和政策相结合，使 NbS 脱颖于其他物种保护或生态系统保护的方法，彰显了 NbS 作为基于健康生态系统的可持续发展工具的作用，这是成功改善生态系统和人类福祉的核心 (Cohen-Shacham et al., 2019)。

2.3 NbS 追求生物多样性保护与其他目标的协同

生物多样性丧失、气候变化、生态系统退化、可持续发展受阻等一系列全球共同面临的环境危机相互交织，互为因果，造成一系列的连锁反应并引发严重的且已经感知的后果，与人类生存和全球可持续发展环环相扣。例如，气候变化是生物多样性丧失的因素之一，反之生态系统破坏和生物多样性的丧失会加剧气候变化；人类活动导致生物多样性减少，生物多样性减少对社会经济风险产生负向反馈效应，二者互反馈之下将进一步引发气候灾难。人与自然生命共同体理念已经揭示了，单纯的保护行动不足以应对当前的挑战，必须意识和重视采取系统、综合的方式，促进应对生物多样性保护、气候变化和人类福祉等社会挑战的协同增效。

NbS 的项目行动不同于单纯的保护行动是因其定义中包含了以一种高效利用资源、适应性的方式应对多种社会挑战的内涵 (Cohen-Shacham et al., 2019)。NbS 原则和方法中定义的七项社会挑战包括气候变化减缓和适应、防灾减灾、经济与社会发展、人类健康、粮食安全、水安全、生态环境退化与生物多样性丧失。

应用 NbS 协同推进气候与生物多样性行动，能够有效应对气候变化以减缓全球升温，减少其引起的物种分布、物候、种群动态、群落结构和生态系统功能的影响，降低由于极端天气增多、气象及自然灾害频发所带来的生态系统退化和物种灭绝风险。同时，加强生物多样性保护，遏制生物多样性丧失的趋势，提升生态系统质量和稳定性，也有助于从整体上改善生态环境质量，提升生态系统碳汇能力，有效应对气候变化。

与此同时，传统的生物多样性保护行动中，保护成果与社会效益和经济利益的转化渠道相对不足，难以调动保护积极性，而应用 NbS 综合考虑干预措施的生态、经济和社会效益，对于充分调动所有利益相关方的参与具有较强的推动作用。

2.4 NbS 构建了全球生态治理的话语体系

联合国生物多样性公约逐步吸收和采用 NbS 的原则与方法，在《昆明宣言》中提出“加强应用基于生态系统的办法，解决生物多样性丧失问题，恢复退化的生态系统，增强复原力”（CBD, 2021），并提出其中的基于生态系统的方法等同于 NbS，标志着国际社会逐步认可应用 NbS 实现和拓展生物多样性保护。COP15 第二阶段会议通过了《昆明- 蒙特利尔全球生物多样性框架》，框架规定的行动目标 11 从提升生态系统服务的角度采纳了 NbS (罗茂芳等，2022)。

NbS 也是实现《联合国气候变化框架公约》和《巴黎协定》目标以及实现可持续发展目标的重要措施，是当前生物多样性保护和应对气候变化领域的热点议题。IPBES 和政府间气候变化专门委员会 IPCC 共同报告指出，到 2030 年有保障措施的 NbS 可以为 2℃的温控目标贡献 37%的减缓气候变化效应，同时有利于保护生物多样性。

国际社会支持采用 NbS 应对生物多样性保护和气候变化等多项挑战，说明了 NbS 已成为应对生物多样性保护和其他环境与社会挑战协同增效的重要纽带和桥梁，将为未来十年全球治理的关键窗口期贡献更多的创新解决方案。NbS 因此被视为目前为数不多的具有统筹推进联合国生物多样性公约（CBD）、气候变化框架公约（UNFCCC）及防治荒漠化公约（UNCCD），推动实现可持续发展目标（SDGs）的重要手段之一。

3 基于自然的解决方案（NbS）促进生物多样性的国内外实践

3.1 国际实践

欧盟地平线 2020 行动计划（Horizon 2020）将 NbS 列为优先投资领域，旨在将 NbS 与生物多样性和生态系统服务的研究推向可持续发展的创新之路，并已投资 2.4 亿欧元用于 NbS 相关项目 (Faivre et al., 2017)。一项对欧盟气候变化 NbS 项目的综合评估研究显示，88%的干预措施都对气候变化适应产生积极成果，67%的干预措施同时对物种丰富度增加有益。所有项目都报告了对缓解和适应气候变化的益处，也支持了生态系统健康，实现了“三赢” (Key et al., 2022)。英国实施了生物多样性净增益政策，要求开发商首先通过影响缓解实现 10% 的生物多样性净

增益，然后在其他地方进行现场增强或抵消。通过监管政策激励社会资本投资 NbS 生物多样性保护项目，或用其他地方的收益来补偿一个地区的损失。

欧洲城市将 NbS 纳入“健康的城市化”促进生物多样性主流，建立共同融资推进公共和私营部门之间的合作可以再次促成共同资助和共同责任，并经常采用具体和可量化的目标来指导 NbS 行动，从而开发和维护有利于城市生物多样性的 NbS (Xie and Bulkeley, 2020)。这些城市 NbS 大多数城市项目将生物多样性作为当地城市规划的基本要素，通过自然生境保护和绿色基础设施建设，兼具保护、恢复和发展的多重目标，形成了一系列的城市 NbS 与生物多样性的典型案例（表 1）。发展中国家政府与非政府组织等机构合作，广泛地吸纳利益相关者参与，采取 NbS 应对生物多样性丧失和滨海经济社会发展的双重挑战，例如 IUCN 亚洲针对越南虾塘养殖破坏红树林的问题发起了市场与红树林项目，保护恢复红树林自然生态系统，同时开展能力培训、建立有机虾养殖产业链，实现生态产品增值（表 1）。

表 1　NbS 促进生物多样性保护的国际实践案例

Table 1 Case studies on NbS promoting biodiversity conservation

类型 Type	地点 Location	措施 Actions	成效 Outcomes
城市生态系统 Urban ecosystem	意大利米兰 Milan, Italy	加强树篱和行道系统、恢复大片城市绿地保护本土物种、重建风车和恢复湿地，建立生态廊道扩大河流右岸面积 Enhancement of hedgerows and walkway systems, restoration of urban green space to protect native species, reconstruction of windmills and restoration of wetlands, creation of ecological corridors to expand the right bank of the river	恢复城市河流的生物多样性，保护和改善城市栖息地，同时有助于防洪和水质调节 River biodiversity and habitats protected and improved, regulation onflooding and water quality promoted
城市生态系统 Urban ecosystem	葡萄牙里斯本 Lisbon, Portugal	增加城市绿色基础设施，制定了城市生物多样性增加 20%的可量化、可核查的目标，生物多样性纳入城市规划 Increased urban green infrastructure with a MRV target of 20% net gain, integrated urban biodiversity into urbanplanning	自然和半自然区域面积共增加 15%，城市绿地连通性都显著提升 Urban green areas increased by 15%, urban green space connectivity significantly improved
滨海红树林湿地 Coastal mangroves ecosystem	越南海岸带 Vietnam Coastal Zone	保护和修复红树林，吸引利益相关方参与，　国际有机虾认证标准并实现生态产品增值 Protection and restoration of mangroves habitat, engagement of stakeholders, international organic shrimp certification standards and eco-products	红树林生态系统面积和功能恢复；可持续渔业能力提升，恢复滨海生物多样性 the area and function of mangroves ecosystem restored, capability of sustainable fishing improved, coastal biodiversity improved

3.2 国内实践

中国的生物多样性保护直接受益于人与自然和谐共生的理念和基于自然的解决方案，形成

了很多有益探索和实践，取得了显著成效。2020 年颁布的《全国重要生态系统保护和修复重大工程总体规划(2021-2035 年)》（以下简称"双重规划"）是推进生态保护修复工作的基本纲领。2021 年《关于统筹和加强应对气候变化与生态环境保护相关工作的指导意见》中强调了重视运用 NbS 减缓和适应气候变化，协同推进生物多样性保护、山水林田湖草系统治理等相关工作。

在双重规划的引领下，中国山水林田湖草沙一体化保护修复工程（以下简称"山水工程"）在"三区四带"布设的 44 个山水工程，目恢复了 350 万公顷土地，惠益千万人口，推进生物多样性保护和社会经济发展的协同，成功获评联合国"世界生态恢复十年旗舰项目"。从规划引领到设计指南和工程落地，山水工程不断吸收和融入 NbS，并结合中国国情进行 NbS 本土化，推动形成了一系列 NbS 实践。山水工程的根据 NbS 的原则与标准，采取将所有生态系统视为"生命共同体"的系统方法，融合了 NbS 的景观尺度设计 (罗明等 2019; 周妍等，2021)。山水工程通过整体保护、系统治理，采取了一系列 NbS 工具和方法恢复退化的森林、草地、湿地、河湖、农田等中的生物栖息地及生态廊道，突出对原生地带性植被、珍稀濒危野生动植物及其栖息地的保护，提升区域生态系统的多样性、稳定性、持续性，野生动植物的生境在持续改善 (罗明等，2020)。

NbS 在生态空间、农业空间、城镇空间的相关方法和工具已经用于中国的国土空间规划并产生了一系列典型做法。2021 年，自然资源部与 IUCN 合作发布了基于自然的解决方案中国实践典型案例，彰显了在国土空间规划中不断融入了 NbS 的理念和原则。在生态空间，规划提倡保护优先、顺应自然，保护、恢复自然生境的核心区和关键物种，NbS 基于生态系统保护和再野化等方法具有重要作用。中国"生态保护红线，减缓和适应气候变化行动倡议"入选了联合国基于自然的解决方案 15 个精品案例。在农业空间，规划阐明了 NbS 基于生态农业方法能发挥多功能性，维护和增加农田中的自然或半自然生境等缓冲带，强化生物廊道功能，增加农作物本身的多样化和利于农作物生长繁殖的昆虫种群多样性，保障国家粮食安全、农产品质量安全和生态安全。例如，黑土地保护利用 NbS 项目针对黑土地退化的问题，采取了用秸秆覆盖还田的 NbS 行动，在秸秆覆盖田块，每平方米蚯蚓的数量是常规垄作的 6 倍，有效保护了黑土层，实现化肥减量 20%和产量增高 5-10%，蚯蚓数量的增加有益于土壤生物性状的改善，另外，秸秆覆盖还为猎鸟和小动物等野生动植物提供掩蔽和食物，也增加了农田生物多样性。在城市空间，采用了 NbS 工具提出的绿色基础设施，应用于建设混合型基础设施、优化生态廊道等行动中，将自然引入城市，提升了城市生物多样性保护能力。例如，面对迅速城镇化过程是人地矛盾日益突出的矛盾，重庆城市更新项目依托现有山水脉络，通过管控保护重要生态空间，开发建设中顺势而为，结合海绵城市，以水为脉串联城市内部生态修复，将公园建设作为缓冲城市中人与自然的关系的重要方式，实现了城市生态效益和经济效益的双升。

4 展望

NbS 在理念内涵、目标准则、技术方法上与生物多样性保护具有强关联性和一致性，NbS 服务于生态系统恢复力和生物多样性的核心目标，采取基于自然的保护与管理行动，恢复生态系统结构、过程、功能和服务，提升生态系统的多样性、整体性、稳定性和持续性。国内外一系列 NbS 促进生物多样性保护的实践凸显了其坚持的系统性、完整性、尺度性等准则，以及协同应对多种挑战的多功能性、综合性和包容性等特征，同时使 NbS 促进生物多样性保护的方法路径和实践成效得到进一步拓展和验证。NbS 与我国道法自然的传统自然观以及人与自然和谐共生、山水林田湖草生命共同体等生态文明理念高度契合，通过将 NbS 应用到国土空间规划、山水林田湖草沙一体化生态保护修复工程、应对极端气候灾害事件等具体实践，在协同应对生物多样性丧失、环境污染、生态系统退化与气候变化等多重挑战方面取得积极成效。尽管如此，NbS 应用于生物多样性保护的实践还尚显不足，其具体实施方法与路径仍需进一步明晰、保护成效还有待进一步考量，需要进一步发展其相关的理论与方法。

生物多样性保护是我国新时期建设人与自然和谐共生的美丽中国的重要行动，围绕 2020 年后全球生物多样性治理的行动目标，NbS 作为一个致力于保护生物多样性和增加人类福祉的综合工具，仍需要深化以下几个方面的研究探索，推动 NbS 在支撑《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》履约方面继续发挥关键作用：1）NbS 在恢复和维持生态系统功能服务和满足人类福祉方面的研究应用，包括 NbS 在自然保护地以及保护地以外的其他有效的区域保护管理措施的差异化融合，支撑山水林田湖草沙生态保护修复重大工程的的可持续管理措施，以及在城市和农业生态系统促进生态系统的恢复力的创新方法，以保持自然对人类的贡献和惠益； 2）NbS 协同应对气候变化、生物多样性丧失等多重危机的探索实践，包括气候变化与生物多样性之间深层交互关系及影响机制，实施 NbS 以缓解、适应和减少气候灾害风险、保护生物多样性的经验总结及推广； 3）促进 NbS 在生物多样性保护中的主流化，比如将 NbS 融入生物多样性保护战略、国土空间规划及相关管理政策机制，引导企业在生物多样性保护实践中采用基于自然的解决方案。

参考文献：

BULLOCK JM, FUENTES-MONTEMAYOR E, MCCARTHY B, et al., 2021. Future restoration should enhance ecological complexity and emergent properties at multiple scales[J]. Ecography, 2022: e05780.

CBD, 2020. Global Biodiversity Outlook 5[R]. Montreal: CBD.

CBD, 2021. Kunming Declaration “Ecological Civilization: Building a shared future for all life on earth”[R]. Kunming: CBD.

CBD, 2022. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework[R]. Montreal: CBD.

COHEN-SHACHAM E, ANDRADE A, DALTON J, et al., 2019. Core principles for successfully implementing and upscaling Nature-based Solutions[J]. Environ Sci Policy, 98: 20-29.

FAIVRE N, FRITZ M, FREITAS T, et al., 2017. Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges[J]. Environ Res, 159: 509-518.

GE ZP, LIU QX, 2020. More than the sum of its parts: Self-organized patterns and emergent properties of ecosystems[J]. Biodivers Sci, 28(11): 1431-1443. [葛振鹏, 刘权兴, 2020. 整体大于部分之和：生态自组织斑图及其涌现属性[J]. 生物多样性, 28(11): 1431-1443.]

HUANG CB, ZHOU ZX, PENG CH, et al., 2019. How is biodiversity changing in response to ecological restoration in terrestrial ecosystems? A meta-analysis in China[J]. Sci Total Environ, 650:1-9.

IPBES, 2018. The IPBES assessment report on land degradation and restoration[R]. Bonn: IPBES.

IUCN, 2016. Defining Nature-based Solutions[R]. WCC-2016-Res-069-EN.

IUCN, 2022. IUCN 2021: International Union for Conservation of Nature annual report[R]. IUCN

KEY I B, SMITH A C, TURNER B, et al., 2022. Biodiversity outcomes of nature-based solutions for climate change adaptation: Characterising the evidence base[J]. Front Environ Sci, 10: 905767.

LE PROVOST G, SCHENK N V, PENONE C, et al., 2022. The supply of multiple ecosystem services requires biodiversity across spatial scales[J]. Nat Ecol Evol, 7: 236–249.

LUO M, YU EY, ZHOU Y, et al., 2019. Distribution and technical strategies of ecological protection and restoration projects for mountains-rivers-forests-farmlands-lakes-grasslands. Acta Ecol Sin, 39(23): 8692-8701. [罗明, 于恩逸, 周妍, 等, 2019. 山水林田湖草生态保护修复试点工程布局及技术策略[J]. 生态学报, 39(23): 8692-8701.]

LUO M, YING LX, ZHOU Y, 2020. Analysis and implication on global standards of Nature-based Solution [J]. Chin Land, (4): 9-13. [罗明, 应凌霄, 周妍, 2020. 基于自然解决方案的全球标准之准则透析与启示[J]. 中国土地, (4): 9-13.]

LUO MF, GUO YF, MA KP, 2022. A brief introduction to the negotiations of the post-2020 global biodiversity framework[J]. Biodivers Sci., 30(11): 5-17. [罗茂芳, 郭寅峰, 马克平, 2022. 简述《2020 年后全球生物多样性框架》谈判进展[J]. 生物多样性, 30(11): 5-17.]

LEFCHECK JS, BYRNES JEK, ISBELL F, et al., 2015. Biodiversity enhances ecosystem multifunctionality across trophic levels and habitats[J]. Nature Communications, 6: 6936.

MA KP, 1993. On the concept of biodiversity[J]. Chin Biodivers, 1(1): 20-22. [马克平, 1993. 试论生物多样性的概念[J], 生物多样性, 1(1): 20-22]

NIGEL D, NAOYA F, NATORI Y, et al., 2022. Nature-based Solutions and protected and conserved areas[R]. Gland: IUCN.

REN H, GUO ZH, 2021. Progress and prospect of biodiversity conservation in China [J]. Ecol Sci, 40(3):247-252. [任海, 郭兆晖, 2021. 中国生物多样性保护的进展及展望[J]. 生态科学, 40(3):247-252]

SONG CL, 2020. Structural stability: Concepts, methods, and applications[J]. Biodivers Sci, 28(11):1345-1361.[宋础良, 2020. 结构稳定性：概念、方法和应用[J]. 生物多样性, 28(11):1345-1361]

STEFFEN W, CRUTZEN PJ, MCNEILL JR, 2007. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature[J]. Ambio, 36: 614–621.

STOKSTAD E, 2020. Global efforts to protect biodiversity fall short[J]. Science, 369(6510): 1418.

VAN DER MAAREL E, FRANKLIN J (translated by YANG MY, OU XK), 2017. Vegetation Ecology[M]. Beijing: Science Press. [van der Maarel E, Franklin J (杨明玉, 欧晓昆 译) , 2017. 植被生态学[M]. 北京：科学出版社.]

WALKER B, 1995. Conserving biological diversity through ecosystem resilience[J]. Conserv. Biol., 9(4): 747-752.

WANG GH, 2002. Further thoughts on diversity and stability in ecosystems[J]. Biodivers Sci., 10(1): 126-134. [王国宏, 2002. 再论生物多样性与生态系统的稳定性[J]. 生物多样性, 10(1): 126-134.]

WANG SP, LUO MY, FENG YH, et al., 2022. Theoretical advances in biodiversity research. Biodiversity Sci., 30(10): 22410. [王少鹏, 罗明宇, 冯彦皓, 等, 2022. 生物多样性理论最新进展[J]. 生物多样性, 30(10)：22410.]

XIE L, BULKELEY H, 2020. Nature-based solutions for urban biodiversity governance[J]. Environ Sci Policy, 110: 77-87.

ZHANG J, KONG HZ, HUANG XL, et al., 2022. Thirty key questions for biodiversity science in China[J]. Biodivers Sci, 30(10): 22609.

ZHANG ZB, WANG ZW, LI DM, 1998. Ecological complexity—review and prospect[J]. Acta Ecol. Sin., 18(4): 433-441.[张知彬, 王祖望, 李典谟, 1998. 生态复杂性研究——综述与展望[J]. 生态学报, 18(4): 433-441.]

ZHOU Y, CHEN Y, YING LX, et al., 2021. A technical framework for ecosystem conservation and restoration [J]. Earth Sci Front, 28 (4):14-24. [周妍, 陈妍, 应凌霄, 等, 2021. 山水林田湖草生态保护修复技术框架研究[J], 地学前缘, 2021,28(4):14-24.]